



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-Liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑪ CH 667 673 A5

⑫ Int. Cl. 5 C 12 P 1/02
C 12 N 9/00

II (C 12 P 1/02, C 12 R 1;645)

② PATENTSCHRIFT A5

② Gesuchsnr.: 214/88	⑦ Inhaber: Schweizerische Eidgenossenschaft, ETH, Institut für Biotechnologie, Zürich
② Anmeldungsdatum: 22.01.1988	
② Patent erteilt: 31.10.1988	
④ Patentschrift veröffentlicht: 31.10.1988	⑦ Erfinder: Jansbekar, Hossein, Zürich Flechter, Armin, Prof. Dr., Rudolfstetten

③ Verfahren zur Herstellung von lignolytischen Brühen.

⑤ Es wird ein einsufiges Verfahren zur biologischen Herstellung von lignolytischen Brühen beschrieben, wobei die Herstellung in technisch einfacher Weise erfolgt. Bei diesem Verfahren werden Basidiomyzeten aus der Gruppe der Ross- und/oder Brandpilze in einem wässrigen Kulturmedium gezüchtet; es wird in Submunkultur in gerührten Bioreaktoren unter aeroben Bedingungen gearbeitet; das Kulturmedium hat eine zur Wachstumsbegrenzung durch mindestens einfache Limitierung essentieller Wachstumstoffe geeignete Zusammensetzung und eine oder mehrere zellwandstabilisierende Substanzen; dabei wird eine lignolytische Flüssigkeit gebildet, die direkt für verschiedene technische und/oder kommerzielle Anwendungen eingesetzt werden kann, oder für die Herstellung eines Enzympräparates mit lignolytischen Eigenschaften weiterverarbeitet werden kann.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung von lignolytischen Brühen durch Kultivierung von Basidiomyceten in einem für das Wachstum der Pilze geeigneten wässrigen Kulturmedium unter Wachstumsbedingungen der Mikroorganismen, gekennzeichnet durch:

- a) Züchten eines Basidiomyceten aus der Gruppe der Rost- und/oder Brandpilze,
- b) in einem Rührkessel unter aeroben Bedingungen,
- c) wobei das Kulturmehrige eine zur Wachstumsbegrenzung durch eine oder mehrere Limitierungen essentieller Wachstumsstoffe geeignete Zusammensetzung aufweist und eine oder mehrere zellwandstabilisierende Substanzen enthalten,
- d) bis zur Bildung der lignolytischen Aktivität in der Brühe.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Rost- und/oder Brandpilze solche der Gattung *Fusarium*, z.B. *Phanerochaete chrysosporium* verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass Kohlenstoff der wachstumsbegrenzende Stoff des Mediums ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Medium Polypropylenglycol enthält.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Medium Polyethylenglycol enthält.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Medium Kohlenwasserstoffe enthält.

7. Lignolytisch aktive Brühe, hergestellt nach dem Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie die Ligninperoxidase enthält und imstande ist, zugegebenes Remazolblau zu entfärben oder Lignin abzubauen.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von lignolytischen Brühen auf biochemischem Weg. Derart hergestellte Brühen haben Bedeutung im Abbau von Ligninen in ligninhaltigen Substanzen, wie Kraftpapier oder Lignosulfat, sowie im Abbau persistenter Schadstoffe wie DDT, Benzpyren, Dioxin, Chlorophenol und dergleichen. Diese Kulturen eignen sich für künftige Anwendungen im Umweltschutz und für die Entsorgungsprobleme der industriellen und öffentlichen Bereiche.

Es sind Verfahrensarten bekannt geworden, welche als produzierende Spezies Weißfäulepilze verwenden. Diese Verfahren sind:

- Nichtgerührte, flache Kulturen in 125-ml-Flaschen mit 10-ml-Kulturmehrige. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichung von Jäger, A., Croan, S. und Kirk, T.K. (1985) *Appl. Microbiol.* 50, 1274-1278 verwiesen.

- Geschüttelte Kulturen in 125-ml-, 1-l- und 2-l-Flaschen mit 10- bis zu 100-ml-Mediumsinhalt auf Rotationsschütttern unter Sauerstoffeinwirkung. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichungen von Asther, M., Corrieu, G., Drapron, R. und Odier, E. (1987) *Enzym Microb. Technol.* 9, 245-249 und von Jäger, A., Croan, S. und Kirk, T.K. (1985) *Appl. Environ. Microbiol.* 50, 1274-1278 verwiesen.

- Myzelkulturen in einem nichtgerührten vertikalen oder horizontalen Reaktor mit fortlaufender Zuführung von Sauerstoff. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichung von Linko, Y.Y., Leisola, M., Lindholm, N., Troller, J., Linko, P. und Flechter, A. (1986) *J. Biotechnol.* 4, 283-291 verwiesen.

- Bewegte Oberflächenverfahren oder Trommelsreaktor. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichung von Kirk, T.K., Croan, S., Tien, M., Murtagh, K.E. und Farrel, R.L. (1986) *Enzyme Microb. Technol.* 8, 27-32 verwiesen.

- Immobilisierte Myzelkulturen in 250-ml-Flaschen z.T. ohne Bewegung und unter Sauerstoffeinwirkung. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichung von Linko, Y.Y., Leisola, M., Lindholm, N., Troller, J., Linko, P. und Flechter, A. (1986) *J. Biotechnol.* 4, 283-291 verwiesen.

- Oberflächenkulturen auf Silikonbeschichtung in einem gerührten Reaktor unter Sauerstoffeinwirkung. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichung von Willemsen, H., Graf, B. und Jäger, A. (1987) in "Lignin enzymatic and microbial degradations" (ed Colloques de l'INRA, Nr. 49, Seiten 203-207, Ed. INRA, Paris, verwiesen.

Die Nachteile an den bekannten Verfahren zur mikrobiellen Herstellung von lignolytischen Brühen sind:

- Die lignolytische Eigenschaft der Brühe wird durch biologische Aktivität der Mikroorganismen hervorgerufen. Für eine gute Produktion ist es daher wichtig, dass alle Mikroorganismen der Kultur ständig mit Nährlösung versorgt werden und die Kultivationsparameter (pH, Temperatur usw.) kontrolliert werden. Im Oberflächenverfahren wird nur ein Teil der Mikroorganismen, die sich auf der Kulturschicht befinden, versorgt. Die äußerste Kulturschicht bleibt inaktiv und nicht produktiv.

- Die Produktivität eines Oberflächenverfahrens ist abhängig von der vorhandenen Oberfläche. Im industriellen Prozess ergeben sich daraus Plattformprobleme.

- Bei der Anwendung von immobilisierten Zellen zur Herstellung von lignolytischen Brühen müssen die verwendeten Trägermaterialien nach der Produktionsphase von der Brühe getrennt und evtl. zur Wiederverwertung gereinigt werden.
- Die zusätzliche Behandlung der Brühe wirkt sich im grossen Maßstab nachteilig auf die Wirtschaftlichkeit dieses Prozesses ans.

Keines der bekannten Verfahren ist für die technischen bzw. grosstechnischen Betriebe geeignet. Ziel der Erfindung ist es daher, ein Verfahren für die kommerzielle Produktion von lignolytischen Brühen anzugeben, wobei die Herstellung und Aufarbeitung der Reaktionslösung technisch einfach gestaltet sein soll.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Lösungen mit hoher lignolytischer Aktivität in einem technisch einfachen Verfahren herzustellen. Diese Aufgabe wird erfundengemäß gelöst durch ein Verfahren mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen. Die bevorzugte Ausführungsform der erfundengemässen Verfahren haben die in den Ansprüchen 2 bis 6 angegebenen Merkmale.

Überraschenderweise und entgegen den Lehren der Standards der Technik wurde festgestellt, dass *Phanerochaete chrysosporium* auch im Rührkessel lignolytische Aktivität zeigt, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Die gerührten Submerssysteme sind besonders geeignet für den grosstechnischen Einsatz, da die Homogenität innerhalb des Kultivationsgefäßes besser gewährleistet ist als beim Oberflächenverfahren oder bei immobilisierten Zellen. Die Massstabvergrößerung und die Kontrolle der Kultivations-/Produktionsparameter sind im Falle des gerührten Kessels einfacher. Die Anwendung von nichtflüssig gebundenen und freien Mikroorganismen ermöglicht die direkte Verwendung oder Weiterverarbeitung der produzierten Brühe.

Die Taxonomie der erfundengemäss geeigneten Basidio- myzeten ist nicht abgeschlossen, und unter die Bezeichnung "Weißfäulepilze" oder "white-rot fungi" fallen vermutlich auch unterschiedliche Gattungen der Rost- und/oder Brandpilze, z.B. *Fusarium*; für das erfundengemäss Verfahren

haben sich insbesondere die bereits beschriebenen Weissfäulepilze *Phanerochaete chrysosporium* und *Coriolus versicolor* als brauchbar erwiesen.

Ros- und/oder Brandpilze, insbesondere *Phanerochaete chrysosporium*, sind bei Züchtungen in geeigneten Medien unter geeigneten Bedingungen zur Bildung von lignolytischen Lösungen befähigt. Für die lignolytischen Eigenschaften der Brühe sind verschiedene Enzyme, wie Ligninperoxidase (Ligninase), Manganperoxidase und Laccase, verantwortlich. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichung von Kirk, T. K. (1967) Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 321, 461-474 verwiesen. Die vollständige Identifikation der beteiligten Enzyme und deren Zusammensetzung und Regulation sind noch nicht abgeschlossen.

Die durch erfundengemässes Verfahren hergestellte Brühe ist gekennzeichnet durch die in Anspruch 7 genannten Merkmale. Die Brühe wird lignolytisch aktiv, wenn ein oder mehrere der in Anspruch 7 genannten Bedingungen erfüllt werden, nämlich:

- Nachweis von Ligninperoxidase im Kulturfiltrat. Die Bestimmung der Ligninase erfolgt nach dem Verfahren, das von Tien, M. und Kirk, T.K. (1984) im Proc. Natl. Acad. Sci. 81, 2280-2284 beschrieben ist.

- Entfärbung von „Remazol brilliant blue R dye“. Nach Zugabe von z. B. 3 mg l⁻¹ dieses Farbstoffes färbt sich die Brühe blau. Wenn die Kultur nun aktiv wird, verschwindet diese Färbung.

- Abbau von Lignin. Zugabe von z. B. 100 mg l⁻¹ eines Lignins (künstliches Alkallignin aus Föhrenholz, Indulin) in lignolytisch aktive Brühe führt zum Abbau dieses Lignins. Der Ligninabbau wird durch die Abnahme der Kultursorption bei 280 nm und pH 11 festgestellt.

Zur Durchführung des erfundengemässen Verfahrens wird unter aeroben Bedingungen in einem Rührkessel (Bioreaktor) gearbeitet, der eine Heizung und einen oder mehrere Turbinenführer besitzt. Zum Animpfen einer im Rektor vorgelegten Menge Kulturmedium und zur Probenahme ist der Rektor mit zwei Schleusen versehen. Mit einer Temperaturregelung wird die Heizung gesteuert, welche die Temperatur im Innern des Reaktors konstant hält. Mit einem pH-Meter wird der pH der Brühe laufend überwacht und gegebenenfalls mit Säure oder Lauge automatisch geregelt. Ferner wird durch eine Leitung Sauerstoff, Luft oder ein anderes sauerstoffhaltiges Gasgemisch in einer zur Erhaltung aerother Bedingungen ausreichender Menge eingespeist.

Während der Kultivierung wird konstant so gerüttelt, dass sich die Zellfläden bilden und Pellets bilden. Die Pellebildung ist für das erfundengemäss Verfahren wesentlich. Zu hohe Rührerumlaufgeschwindigkeiten führen dazu, dass Pellets zerstört oder zerfressen wird. Hierzu sind an sich flüchtige Rührer mit relativ niedrigen Rührerspitzen Geschwindigkeiten von 0,5 bis 1,0 ms⁻¹ geeignet. Eine abschließende Definition von Rührbedingungen und Kinetik ist praktisch nicht möglich, doch kann die Optimierung im Rahmen der oben angegebenen Grenze zwischen Ballen der Zellfläden und Zersetzung der Pellets bei einem gegebenen Pilzmateriel leicht anhand von wenigen einfachen Versuchen ermittelt werden.

Zur Durchführung des erfundengemässen Verfahrens kann, abgesehen von den nachfolgenden erläuterten speziellen Bedingungen, unter den für die erwähnten Mikroben geeigneten allgemeinen Kulturbedingungen (Temperatur, pH-Wert, essentielle Wachstumskomponenten) gearbeitet werden. Beispielsweise ist ein Temperaturbereich von 25 bis 40 °C für die Kultivierung geeignet und ein solcher von 35 bis 38 °C bevorzugt. Der pH-Wert des Mediums liegt allgemein zwischen 3,5 und 6,5 und vorzugsweise zwischen 4 und 5.

Das Medium für die Züchtung der Pellets kann die übli-

chen Quellen für Kohlenstoff (einfache Kohlenhydrate, wie Zucker, z. B. Glucose, Fructose, polymere Kohlenhydrate, z. B. Stärke, Cellulose, Glicane oder Salze organischer Säuren, wie Acetate, Succinate, Tartrate usw.) und Stickstoff (Ammoniumsulfat, Nitrate oder komplexe organische Stickstoffverbindungen) sowie Vitamine (Thiamin ist meistens ausreichend) und Mineralstoffe wie Fe, Mg, Ca, und Spurenstoffe wie Mn, Co, Za, Cu (Netzwasser ist meistens ausreichend). Die Menge der Mediumzusätzen soll so gewählt werden, dass das Wachstum durch einen oder mehrere essentielle Wachstumsstoffe vorzugsweise Kohlenstoff beschränkt wird und die restlichen Zutaten in Überschuss vorhanden sind. Der Anteil eines Wachstumsstoffes am Kulturmedium wird dann als limitierend bezeichnet, wenn eine Veränderung des Anteils des Wachstumsstoffes am Kulturmedium zu einer merklichen Abnahme der Biomassenproduktion führt. Eine solche Verarmung bzw. Limitierung der essentiellen Wachstumsstoffe hat zur Folge, dass sich das Pilzmaterial praktisch nicht mehr vermehrt, was zu einer lignolytischen Aktivierung der Brühe führt.

Wesentlich für das erfundengemäss Verfahren ist es, dass das Medium eine oder mehrere zell-, und stabilitätserhaltende Substanzen wie Polyethylenglycol und/oder Polypropylenglycol aber auch Kohlenwasserstoffe enthält. Die Untersuchungen zur Abklärung der Wirkungsweise der erfundengemäss geeigneten Substanzen auf die Aktivierung der Brühe sind nicht abgeschlossen. Ähnliche Effekte werden durch Zugabe von Detergenten wie Tween oder Oleinsäure erreicht. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Veröffentlichungen von Asther, M., Corriu, G., Drapron, R. und Odier, E. (1987) Enzym Microb. Technol. 9, 245-249 und von Jäger, A., Croan, S. und Kirk, T.K. (1985) Appl. Environ. Microbiol. 50, 1274-1278 verwiesen.

Die aktive Brühe kann als solche z. B. für den Abbau von Ligninen in ligninhaltigen Substanzen oder von persistenten Schadstoffen verwendet werden; oder sie kann in bekannter Weise durch Zentrifugieren und/oder Filtration für die Herstellung eines Enzympräparates mit lignolytischer Aktivität aufgearbeitet werden. Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Beispiele erläutert.

Beispiel 1 Produktion von lignolytischer Brühe unter Zugabe von Polypropylenglycol

Der Stamm *Phanerochaete chrysosporium*, mit der Hinterlegungsnummer ATCC 24725, wurde auf 40 ml 2% Maltaar in 300 ml-Erlenmeyerkalben für 4 Tage oder länger bei 37 °C bis zur vollständigen Sporulation (Agarfläche zugedeckt mit weißen Sporen) kultiviert. Die Sporen wurden in 30 ml steriles Wasser suspendiert und ihre Anzahl mikroskopisch festgestellt. Die Sporensuspension wurde für die Impfung des Reaktors gebraucht.

Zur Einleitung des erfundengemässen Verfahrens wurde ein mechanisch gerührter Reaktor mit zwei sechsblaätigen Scheibenführern und vier Strömungsbeschleunigern (bufrets) verwendet. Skizze dieses Rührkesselreaktors. Zusammenstellung der Abmessungen vom Gefäß, Einbauten, Rühr- und Begegnungseinrichtungen sowie einige kennzeichnende geometrische Kenngrößen sind in Fig. 1 angegeben. Die Belüftung erfolgte jeweils mittels eines Gavverteileringstrigs unterhalb der niedrigen Rührerhöhe. Der Reaktor hatte vier Strömungsschichten, und sein Gesamtvolume betrug 0,042 m³. Der Reaktor war auf ein maximales Füllvolumen von 0,03 m³ ausgelegt. Der Reaktor wurde mit 30 l frischem Kulturmedium, der in der folgenden Tabelle angegebene Zusammensetzung hat, versetzt und dessen pH-Wert mit Phosphorsäure auf 4,5 eingestellt und bei 121 °C während 20 min sterilisiert.

Tabelle 1

Komponente	Konzentration (Liter) ⁻¹
Glucose	3 g
Diammoniumtartrat	0,66 g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,15 g
CaCl ₂ · 2H ₂ O	36 mg
FeSO ₄ · 7H ₂ O	5,55 mg
Thiamin	100 mg
Leitungswasser	Rest

Nach der Sterilisierung des Reaktors wurde der Rührer auf 150 ± 20 U/min eingestellt, die Temperatur des Mediums auf $37 \pm 2^\circ\text{C}$ gebracht und mit der Temperaturregelung auf diesen Wert gehalten. Der pH-Wert betrug $4,5 \pm 0,2$ und wurde laufend von der pH-Begleitung überwacht. Der für die Züchtung benötigte pH-Wert wurde mit 16%iger NaOH und 20%iger H₂SO₄ eingestellt.

Danach wurde das Kulturmödium mit der vorbereiteten Sporensuspension ($7 \cdot 10^6$ Sporen l⁻¹) inkuliert und mit geschlossenem Abzugsventil bei der angegebenen Temperatur gehalten und unter fortlaufender Frischluftzuführung (volumenbezogener Gasdurchsatz von 0,11 Luft pro l Flüssigkeit pro min) durch die Belüftungsleitung und Luftableitung aerob gehalten. Gelegentlich wurden 100 ml Probe durch das Abzugsventil des Reaktors aus dem Kulturmödium entnommen, durch einen tierierten Papierfilter filtriert und die Glucoskonzentration im Filtrat gemessen. Die Bestimmung des Glucosgehaltes wurde in einem automatischen Analyseator (YSI-Instrument, USA) durchgeführt. Die auf dem Filter zurückgebliebene Biomasse wurde bei 80°C getrocknet und ausgewogen.

Nach einer kurzen Verzögerungsphase (Lagphase) von einem Tag sank die Glucoskonzentration in der Kultur, und die Biomassenmasse nahm gleichzeitig zu. Ein Tag nach dem Inkubieren erschienen die Pilze in Form kleiner Pellets, welche sich im Verlaufe des Versuches bis am 4. Tag zu einer

Größe von 3 bis 4 mm entwickelten. Die Glucose war nach 6 Tagen vollständig verbraucht. Ein bis zwei Tage danach konnte die Ligninase im Kulturfiltrat nachgewiesen werden, die in 5 Tagen eine Aktivität von 46 bis 62 U l⁻¹ erreichte.

5

Beispiel 2
Produktion von lignolytischer Brühe und die Entfärbung von Remazolblau

Phanerochaete chrysosporium wurde wie in Beispiel 1 gezüchtet. Nach dem vollständigen Verbrauch von Glucose wurden 3 mg l⁻¹ Remazolblau ins Kulturmödium zugegeben. Die blaue Farbe des Remazols verschwand innerhalb von 1 bis 2 Tagen.

6

Beispiel 3
Produktion lignolytischer Brühe und Ligninabbau
Es wurde wie in Beispiel 1 gearbeitet, jedoch unter Zugabe von 0,1 g l⁻¹ Föhrenholzlignin aus der Sulfatkochung (Westvaco Co., Charleston, S.C., USA) gearbeitet. Es wurde ≈ 70 bis 80% vom Lignin innerhalb von 2 bis 3 Tagen abgebaut.

7

Beispiel 4
Produktion von lignolytischer Brühe unter Zugabe von Polyethylenglycol

Es wurde wie in Beispiel 1 gearbeitet, jedoch unter Verwendung von Polyethylenglycol in gleicher Menge wie Polypropylenglycol. Ein bis zwei Tage nach dem vollständigen Glucoseverbrauch wurde die Brühe lignolytisch aktiv, und die Ligninase erreichte eine Aktivität von 102 bis 106 U l⁻¹ 5 bis 6 Tage.

8

Beispiel 5
Produktion von lignolytischer Brühe unter Zugabe von Hexadecan

Es wurde wie in Beispiel 1 gearbeitet, jedoch unter Verwendung von Hexadecan in gleicher Menge wie Polypropylenglycol. Ein bis zwei Tage nach dem vollständigen Abbau von Glucose verschwand die blaue Farbe vom Remazol, und es wurde eine Ligninaseaktivität von 10 bis 20 U l⁻¹ erreicht.

